

Durch eine gezielte Präparation der Schneidkanten-Mikrogeometrie lassen sich – neben Standweg-erhöhungen – auch Bauteiloberfläche und -randzone beeinflussen.

Methoden zur Präparation von Zerspanwerkzeugen

Leistungsoptimierung an der Schneidkante

Berend Denkena, Niklas Kramer, Frank Siegel und Jan Kästner, Hannover

Neben der Makrogeometrie ist die Schneidenmikrogeometrie ein entscheidendes Stellglied, das Einsatzverhalten des Werkzeugs positiv zu beeinflussen. Die einzige Möglichkeit, den ständig steigenden Anforderungen gerecht zu werden, ist die Bereitstellung einer defektfreien, auf die Anwendung abgestimmten Schneidkante.

Um die Qualität der Schneidkante und folglich ihre Standzeit zu erhöhen, muss diese nach dem Schleifen gezielt verrundet oder gefast werden [1]. Welche Schneidkante für welchen Anwendungsfall die besten Möglichkeiten bietet, ist auch aus industrieller Sicht noch nicht vollständig beantwortet.

Eine der Kernkompetenzen am Institut für Fertigungstechnik und Werkzeugmaschinen (IFW) der Leibniz Universität Hannover ist die gezielte Präparation der Schneidkante. Die Forschungsergebnisse zeigen, dass durch eine anwendungsorientierte Kantenpräparation Standweg-erhöhungen bis zum Faktor vier realisiert werden können. Darüber hinaus ist es durch die Schneidenfeingestaltung möglich, eine definierte Beeinflussung der Bauteiloberfläche und -randzone vorzunehmen.

Die vorgestellten Ergebnisse wurden in dem vom BMBF finanzierten Projekt „Geospan“ mit Unterstützung durch das Laser Zentrum Hannover e.V., die CemeCon AG, die Walter Maschinenbau GmbH und die Kennametal Technologies GmbH erarbeitet.

Autoren

Prof. Dr.-Ing. **Berend Denkena**, Jahrgang 1959, leitet das Institut für Fertigungstechnik und Werkzeugmaschinen (IFW) der Leibniz-Universität Hannover.

Dipl.-Ing. (FH) **Niklas Kramer**, Jahrgang 1978, leitet die Abteilung Schleiftechnologie am IFW.

Dipl.-Ing. **Frank Siegel**, Jahrgang 1977, ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Laser Zentrum Hannover e.V.

Dipl.-Ing. (FH) **Jan Kästner**, Jahrgang 1978, ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am IFW.

Zum Finishen der Schneidkante kommen am IFW spezielle, fein abstimmbare Bürst- und Magnetfinishstrategien zum Einsatz, die eine reproduzierbare Präparation der Schneidkante erlauben. In enger Kooperation mit dem Laser Zentrum Hannover e.V. (LZH) werden zudem Schneidkanten auch durch Lasereinsatz präpariert.

Kennwerte zur Charakterisierung der Schneidkante

Die Erforschung des Schneidkanten-einflusses war bisher auf den Kantenradius beschränkt. Aktuelle Erkenntnisse zeigen jedoch, dass die tatsächliche Form, die von einem exakten Radius abweichen kann, einen großen Einfluss auf die Zerspankräfte und den Werkzeugverschleiß hat. Um den Einfluss der Mikrogeometrie auf das Prozess- und Verschleißverhalten der Werkzeuge beschreiben zu können, wurde in einer Zusammenarbeit des Instituts für spanende Fertigung (ISF), Dortmund, und des IFW Hannover eine neue Methode zur Charakterisierung der Schneidkanten-geometrie entwickelt. Bisher wurde diese allein über den Kantenradius r_β [2;3] beschrieben. Dies ist nicht ausreichend, da die reale Schneidenform nicht immer symmetrisch ist. Zudem können bei

symmetrischen Schneidenformen unterschiedlicher Ausprägung gleiche Radien gemessen werden.

Bild 1 zeigt, dass weitere Parameter zur vollständigen Beschreibung der Schneidkanten-geometrie notwendig sind. Im Falle einer asymmetrischen Schneidkante ist es zudem notwendig, die Orientierung der Kantenverrundung zu ermitteln. Die vollständige Charakterisierung der Schneidkanten-geometrie ist in **Bild 2** dargestellt. Zunächst werden die Geraden der Span- und Freifläche bis zum Schnittpunkt verlängert, so dass sich die Stellen, an denen die Schneidenform von den verlängerten Geraden der Span- und Freifläche abweicht (Punkt 3), ermitteln lassen.

Die Abstände zwischen diesen zwei Punkten und dem theoretischen Schnittpunkt werden als Schneidenabschnitte mit S_γ und S_α benannt (Punkt 4). Nun lässt sich der höchste Punkt der Schneidkante identifizieren und der Abstand Δr (Punkt 6) zwischen diesem und dem theoretischen Schnittpunkt der Span- und Freifläche messen. Weiterhin wird das Verhältnis K zwischen den Schneidenabschnitten S_γ und S_α berechnet. Mit dieser Parameterkombination sind Geometrie und Orientierung der Schneidkante vollständig beschrieben und Rückschlüsse auf das Einsatzverhalten des Werkzeugs möglich.

Ausgehend von dieser Methode zur Schneidkantencharakterisierung werden im Folgenden drei Verfahren vorgestellt, die in der Lage sind, die gefor-

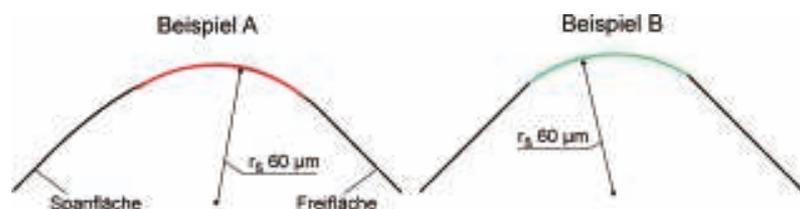


Bild 1

Auch bei gleichem Schneidkantenradius r_β können sich unterschiedliche Schneidkanten-geometrien ergeben.

derte Schneidkanten-geometrie nach unterschiedlichen Prinzipien reproduzierbar zu erzeugen.

Kantenverrundung durch Bürsten – Strategien und Prozessgrößen

Umfangreiche Forschungsarbeiten zeigen, dass es durch Bürsten möglich ist, sowohl symmetrische als auch asymmetrische Kantengeometrien definiert zu präparieren. Hochflexible 5-Achs-Bearbeitungsstrategien gestatten es zudem, auch komplizierte Schneidkanten-geometrien, die an Bohrern und Fräs Werkzeugen zu finden sind, herzustellen. Materialabtrag und Schneidengeometrie lassen sich über die Prozessgrößen sowie die Bürstenspezifikation steuern [4], **Bild 3**.

Bei einer großen Bürstzustellung a_e steigt der Materialabtrag, da mehr Abrasivpartikel am Abtrag teilnehmen. Die Vergrößerung der Kantenverrundung folgt bei Zunahme der Bürstgeschwindigkeit einem progressiven Verlauf, da die kinetische Energie der Abrasivpartikel proportional zum Quadrat der Schnittgeschwindigkeit v_c ist. Über die Bürstdauer t kann die Größe der Kantenverrundung eingestellt werden, die einen degressiven Verlauf aufweist. Die Größe der Kantenverrundung wird auch durch die Spezifikation der eingesetzten Bürste beschrieben. Ein größeres Abrasivkorn erzeugt einen höheren Materialabtrag.

Bei der Variation der Abrasivkorngröße wird gleichzeitig der Fadendurchmesser verändert. Die Bürste hat somit eine andere Fadendichte sowie eine veränderte dynamische Steifigkeit, die sich auf das Abtragsverhalten auswirkt. Da typische Bürstzeiten in der Größenordnung von 10 s liegen, lassen sich auf den Anwendungsfall zugeschnittene Schneidkantenmikrogeometrien innerhalb kürzester Taktzeiten herstellen. Darüber hinaus ist es möglich, entlang der Kante unterschiedliche, lastabhängige Kantengeometrien anzubringen.

Werkzeugpräparation durch Magnetfinishverfahren

Das Magnetfinishverfahren arbeitet nach einem ähnlichen Wirkprinzip wie das Gleitschleifen. Das zu präparierende Werkzeug wird in das Bearbeitungsmedium getaucht und durch die auftretenden Relativgeschwindigkeiten bezüg-

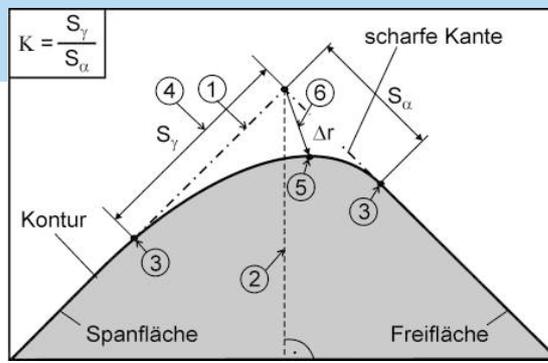


Bild 2

Vollständige Charakterisierung der Schneidkanten-geometrie.

lich seiner Kantengeometrie und Oberflächenausprägungen modifiziert.

Das Magnetfinishverfahren bietet jedoch zwei entscheidende Vorteile. Durch die Feinkörnigkeit der im Magnetfeld gehaltenen Abrasivpartikel kann ein sofortiges, vollständiges Eintauchen der Werkzeuge und somit eine gleichmäßige Präparation über die gesamte Werkzeuglänge sichergestellt werden. Zudem kann das im Magnetfeld rotierende Abrasivmedium unter verschiedenen Relativgeschwindigkeiten und Anstellwinkeln an das rotationssymmetrische Zerspanwerkzeug herangeführt werden, wodurch die entstehende Kantengeometrie in weiten Bereichen einstellbar ist, **Bild 4**.

Durch die Spezifikation des Abrasivpulvers und der Prozessgrößen findet neben der Einstellung der Kantengeometrie eine signifikante Modifikation der Werkzeugo-berfläche statt. Das Durchströmen der Spannut mit dem Abrasivmedium führt zu einer Glättung der Oberfläche und folglich beim Werkzeugeinsatz zu geringeren Bearbeitungskräften sowie reduziertem Adhäsionsrisiko. Diese Vorteile kommen besonders beim Bohren von Werkstoffen wie Titan und Aluminium zum Tragen. Durch die „sanfte“ Werkzeugpräparation eignet

sich das Verfahren zur Behandlung vor und nach dem Beschichten. Bei der Schichtnachbehandlung werden auch die für das PVD-ARC-Beschichtungsverfahren typischen „Droplets“ entfernt. Das IFW forscht momentan an einem anwenderorientierten Empfehlungs-

handbuch, mit dem der Nutzer der Magnetfinishtechnologie in Abhängigkeit von seiner Werkzeuggeometrie prozesssicher und schnell zur gewünschten Schneidkanten-geometrie kommt.

Lasereinsatz in der Werkzeugherstellung

Durch den definierten Materialabtrag ist es mit Laserverfahren möglich, die Geometrie und Oberflächenstruktur von Zerspanwerkzeugen gezielt anzupassen und somit deren Funktionalität zu verbessern. Hierbei kommen die Vorzüge der Ultrakurzpulsbearbeitung mit geringer Schmelzfilmdicke und minimaler Werkstoffbeeinflussung zum Tragen. Eine beispielhafte Anwendung für ultrakurze Laserpulse findet sich in der Bearbeitung von Werkzeugen aus Hartmetall, CBN (kubisches Bornitrid) sowie Diamant.

Durch die extrem hohe Intensität des Lasers lassen sich diese Werkstoffe mit gleicher Qualität wie Stahl bearbeiten [5;6]. Strukturierungsergebnisse mit ultrakurzen Laserpulsen zeigen, dass die erforderlichen Schneidkanten-geometrien ohne zusätzliche Nachbearbeitungsschritte angebracht werden können. In **Bild 5** sind laserbasierte Kanten-

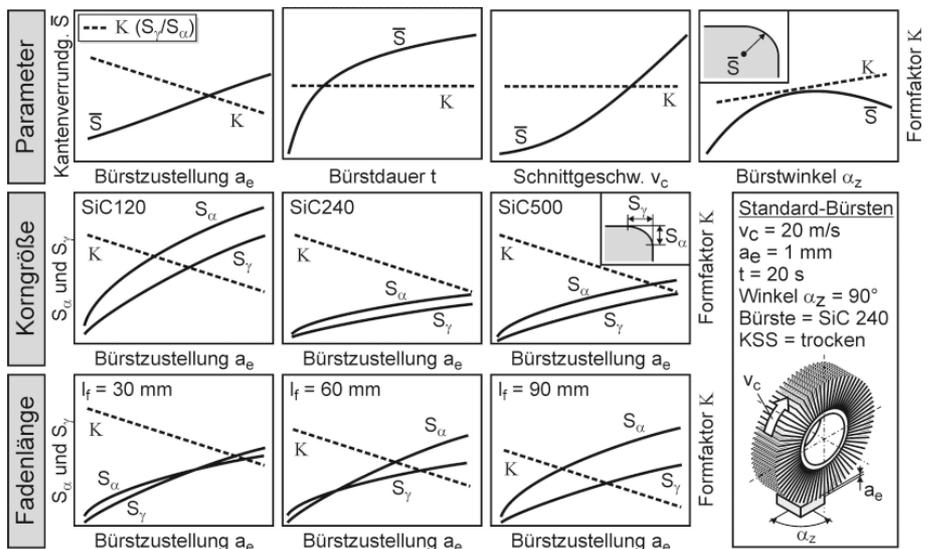


Bild 3

Verschiedene Einflussgrößen beim Bürsten steuern Materialabtrag und Schneidengeometrie.

Teil 2 der Beitrags: Leistungsoptimierung an der Schneidkante – Einsatzverhalten und Bauteilbeeinflussung – erscheint voraussichtlich im Special III der VDI-Z im November 2007.

verrundungen dem Ausgangszustand gegenübergestellt. Mit den eingesetzten Parametern können symmetrisch ausgeführte Schneidkantenrundungen zwischen $\sim 5 \mu\text{m}$ beziehungsweise $\sim 50 \mu\text{m}$ erzeugt werden.

Die REM-Aufnahmen im Bild 5 veranschaulichen die Flexibilität der entwickelten Technologie. Weiterhin stellen die Aufnahmen die hohe Oberflächengüte der bearbeiteten Schneidkanten sowie die Gleichmäßigkeit der angebrachten Verrundung heraus. Um dreidimensionale Kanten geometrien komplexer Schneidwerkzeuge mit höchster Präzision bearbeiten zu können, wurde eine Bearbeitungsstation – bestehend aus Positioniersystem, Strahlquelle und Messtechnik – konzipiert und aufgebaut, **Bild 6**.

Die Anordnung der insgesamt sechs Präzisionsachsen innerhalb eines Portalsystems erlaubt die orientierungsangepasste Positionierung des Laserstrahls. Die Oberflächenkonditionierung von Span- und Freiflächen, das Einbringen von Spanform- und -leitstufen sowie die gezielte Mikrostrukturierung von Schneidkanten sind nur einige Beispiele für die Möglichkeiten des Lasereinsatzes bei der Schneidwerkzeugherstellung.

Fazit

Im Rahmen der Forschungsarbeiten wurde eine Methode vorgestellt, die es möglich macht, die Schneidkante vollständig zu charakterisieren. Durch die Erfassung der realen Größe und der Orientierung der Kantenrundung ist es somit möglich, genaue Rückschlüsse auf das Einsatzverhalten des Werkzeugs zu treffen. Die Untersuchungen zu den vor-

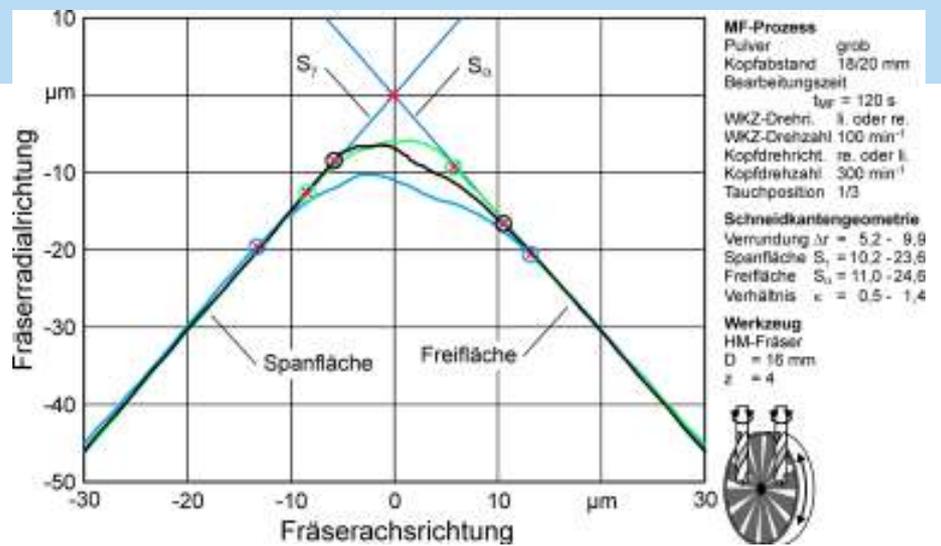


Bild 4

Schneidkantenverrundung in Abhängigkeit der Bearbeitungsparameter.

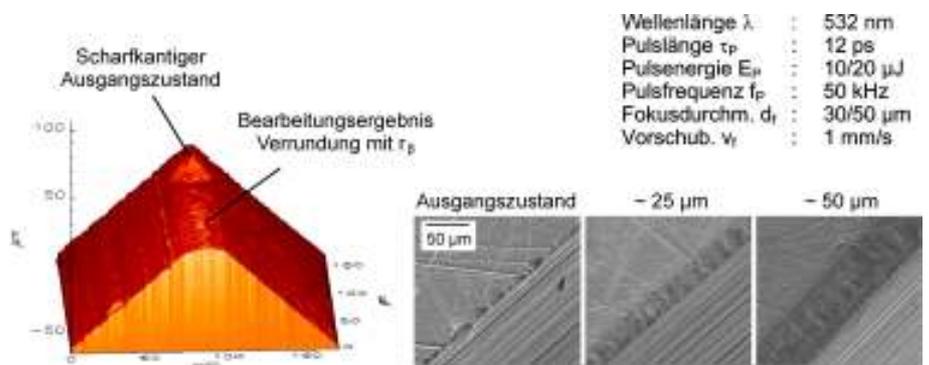


Bild 5

Laserbearbeitete Schneidkanten im Vergleich zum Ausgangszustand.

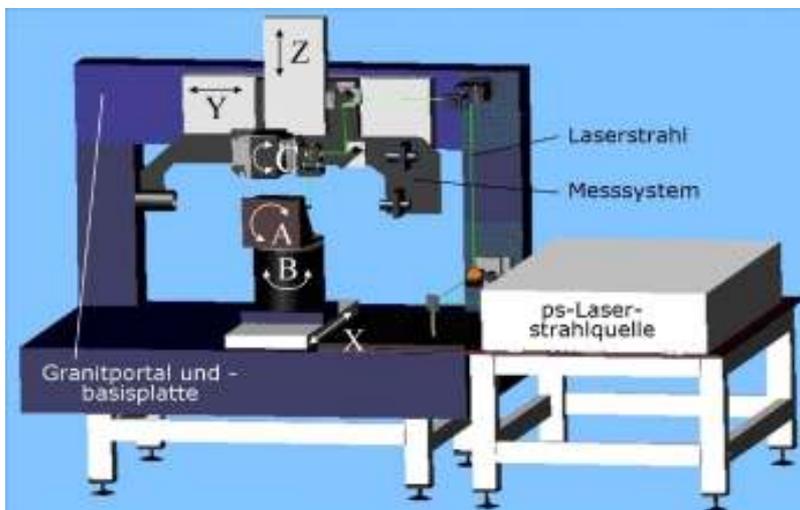


Bild 6

Präzisionspositionierung zur Laserbearbeitung von Schneidwerkzeugen.

gestellten Verfahren der Kantenpräparation zeigen, dass es mit unterschiedlichen Fertigungstechnologien möglich ist, Schneidkanten sogar an komplexen Werkzeuggeometrien reproduzierbar zu präparieren. Das Magnetfinishverfahren verfügt darüber hinaus über das Potential, die Oberfläche der Span- und Freifläche zu glätten und somit Reibung und Adhäsion zu minimieren.

E-Mail-Adressen der Autoren: denkena@ifw.uni-hannover.de; kramer@ifw.uni-hannover.de; f.siegel@lzh.de; kästner@ifw.uni-hannover.de

Literatur

- [1] Denkena, B.; Becker, J.C.; de León-García, L.: Study of the Influence of the Cutting Edge Microgeometry on the Cutting Forces and Wear Behavior in Turning Operations. 8th CIRP, International Workshop on Modeling of Machining Operations, IWU Chemnitz, 10.–11. Mai 2005.
- [2] Stevenson, R.; Schimmel, R.; Endres, W.: Application of an Internally Consistent Material Model to Determine the Effect of Tool Edge Geometry in Orthogonal Machining. Transactions of the ASME 124, S. 536–543, 2002.
- [3] Altintas, Y.; Ren, H.: Mechanics of Machining with Chamfered Tools. Transactions of the ASME 122, S. 650–659, 2000.
- [4] Friemuth, T.: Herstellung spanender Werkzeuge. Dr.-Ing. Habil., Universität Hannover. Fortschrittsberichte des VDI, Düsseldorf. Reihe 2, Fertigungstechnik, 2002.
- [5] Denkena, B. (Hrsg.): Lasertechnologie für die Generierung und Messung der Mikrogeometrie an Zerspanwerkzeugen. Ergebnisbericht des BMBF-Vorbundprojektes GEOSPAN, 2005.
- [6] Tönshoff H. K.; Ostendorf A.; Kulik C.; Siegel F.: Finishing of Cutting Tools Using Selective Material Ablation. In: Proceedings of 1. International CIRP-Seminar on Micro and Nano Technology, Copenhagen/DK, S. 13–14, 2003.